Aus der Nervenklinik der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. H. Heimann

DIE ABSOLUTE REFRAKTÄRZEIT AM N. MEDIANUS DES MENSCHEN.

VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNG VERSCHIEDENER MESSMETHODEN.

INAUGURAL – DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde

dem Fachbereich Klinische Medizin
der Eberhard–Karls–Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
GABRIELE HÖHNLE, geb. Färber
aus Grossaspach

1978

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41523702_0082

Aus der Nervenklinik der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. H. Heimann

DIE ABSOLUTE REFRAKTÄRZEIT AM N. MEDIANUS DES MENSCHEN.

VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNG VERSCHIEDENER MESSMETHODEN.

INAUGURAL – DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde

dem Fachbereich Klinische Medizin
der Eberhard–Karls–Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
GABRIELE HÖHNLE, geb. Färber
aus Grossaspach

1978

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Professor Dr. H.– E. Hoffmeister

Berichterstatter: Professor Dr. H. Heimann
(Akademischer Oberrat Dr. B. Friedel)

Gedruckt bei Fa. Hans–Joachim Köhler, Tübingen, Neue Straße 11

INHALTSVERZEICHNIS

I. Einleitung

II. Methodik

III. Technik

IV. Eigene Untersuchung
A. Versuchsanordnung

B. Messergebnisse
1. Nervenleitgeschwindigkeit und Leitzeit der schnellen Fasern auf die konventionelle Weise
2. Streuung der Nervenleitgeschwindigkeit zwischen den schnellsten und langsamsten Fasern mit der Doppelstim ulationsmethode
3. Direkte Messung der absoluten Refraktärzeit der schnellsten und langsamsten Fasern

C. Statistische Auswertung

V. Diskussion

VI. Zusammenfassung

VII. Literaturverzeichnis

I EINLEITUNG

Obwohl die ersten Untersuchungen über die Nervenleitgeschwindigkeit beim Menschen vor mehr als hundert Jahren durchgeführt worden waren, wurde das Verfahren für klinische Untersuchungen nicht angewandt (21,5,12), bis 1948 Hodes, Larrabee und German bei Messungen der Nervenleitgeschwindigkeit von sich regenerierenden Nerven eine Abnahme der Leitgeschwindigkeit feststellen konnten.

Inzwischen dient nicht nur die Messung der Nervenleitgeschwindigkeit zu klinischen Untersuchungen. So diskutiert Lehman auch die Möglichkeit die Messung der Refraktärzeit als klinische Untersuchungsmethode zur Bestimmung diskreter Demyelinisierungen einzusetzen (17). Als Nachteil der Methode nennt er die Notwendigkeit supramaximaler Reizung, die beträchtliche Fehlerbreite bei kleinen Potentialen und das Absinken der Temperatur gelähmter Gliedmaßen.

Nervenfunktionsprüfungen dienen heute allgemein als diagnostische Hilfsmittel zur Prüfung von Nervenläsionen peripherer Nerven. Die Bestimmung der Nervenleitgeschwindigkeit (NLG) der langsamleitenden motorischen Nervenfasern beim Menschen basiert auf der unterschiedlichen Erregbarkeit der schnellen und langsamen Fasern (6,21), auf der Ausbreitung des Muskelpotentials bei Reizung des Nerven an zwei verschiedenen Punkten und der von Hopf entwickelten Methode (10,11,12), den Nervenstrang distal und proximal mit supramaximalen Reizintensitäten zu stimulieren und das Muskelpotential zu registrieren. Bei der letzteren Methode ist das Intervall zwischen dem distalen konditionierenden Impuls und der folgenden proximalen Reizung verlängert. Die Blockierung der schnellen Fasern ist nach der antidromen Reizung über die distale Elektrode kürzer, während die der langsam leitenden Fasern länger ist. Infolgedessen tritt das Muskelpotential nach einem proximalen Impuls eine bestimmte Zeit nach dem Muskelpotential des distalen Impulses auf. Er wächst

mit zunehmendem Reizintervall graduell auf ein Maximum an. Das Auftreten des zweiten Muskelpotentials und sein Amplitudenmaximum zeigen die antidrome Leitungszeit (LZ) plus der Refraktärzeit (ARZ) der am schnellsten bzw. langsamsten leitenden Nervenfasern an. Um die Leitungszeit zu errechnen, muss die ARZ von dem gemessenen Reizintervall abgezogen werden. Hopf (11) zog ohne Bestimmung der Refraktärzeit sowohl von den am schnellsten als auch am langsamsten leitenden motorischen Nervenfasern 0,6 msec als ARZ ab. Dieses Verfahren führt zu ungenauen Resultaten, weil die ARZ von der NLG nicht unabhängig ist (siehe statistische Auswertung). Die beschriebene antidrome-orthodrome Doppelstim ulationsmethode erlaubt jedoch die Messung der NLG und ARZ sowohl der schnellsten als auch der langsamsten motorischen Nervenfasern.

Die Aufgabe in der vorliegenden Arbeit besteht nun darin

1. die Nervenleitgeschwindigkeit und Leitzeit der schnellsten motorischen Fasern des N. medianus in dem Segment Ellenbeuge - Handgelenk auf die konventionelle Weise zu messen,
2. die Streuung (die Differenz zwischen den langsamsten und schnellsten Fasern) der Nervenleitgeschwindigkeit sowohl der am langsamsten als auch am schnellsten leitenden motorischen Fasern des N. medianus in dem Segment Ellenbeuge - Handgelenk mit der antidromen-orthodromen Doppelstim ulationsmethode zu messen und die ARZ der schnellsten Fasern zu berechnen.
3. die absolute Refraktärzeit direkt in den schnellsten und langsamsten motorischen Nervenfasern des N. medianus im
4. gleichen Segment zu messen und eine mögliche Abhängigkeit der NLG von der ARZ zu prüfen.

II GRUNDBEGRIFFE

Die Nervenleitgeschwindigkeit der schnellsten motorischen Fasern wurde auf konventionelle Weise durch die Latenzunterschiede zwischen zwei Reizpunkten bestimmt. Um die Leitzeit plus der absoluten Refraktärzeit der schnellsten und langsamsten Fasern zu messen, wurde die antidrome-orthodrome Doppelstimmulationsmethode (11) angewandt. Die Reizpunkte waren identisch mit denen der konventionellen Methode. Die Reizintensitäten lagen beträchtlich höher als die, mit der bereits eine maximale Antwort erzielt werden konnte. Der konditionierende Reiz wurde über die distale und der Testreiz über die proximale Elektrode gegeben. Das Intervall zwischen den Reizen wurde so lange vergrößert, bis das Muskelpotential des Testreizes sichtbar wurde. In diesem Augenblick zeigte das Reizintervall die Summe der Leitungszeit zwischen den Elektroden und der ARZ der schnelleitenden Fasern an.
Zur Bestimmung der Leitungszeit plus der ARZ in den langsamsten Fasern wurde das Reizintervall weiter vergrößert, bis das Muskelpotential des Testreizes das Amplitudenmaximum erreichte. Das Reizintervall entsprach nun der Summe der Leitungszeit und der ARZ in den langsamsten Fasern zwischen den beiden Reizkathoden.
Die ARZ der schnellsten Fasern wurde durch Abzug der konventionell gemessenen Leitungszeit vom Reizintervall im gleichen Segment berechnet.
Um sicher zu gehen, dass die erhaltenen Werte der ARZ unabhängig von der für die Messung verwandte Länge des Segmentes sind, wurde die ARZ sowohl der schnellsten als auch der langsamsten Fasern ebenfalls mit der Doppelstimulationsmethode direkt bestimmt und der Unterschied berechnet. Bei der direkten Bestimmung der ARZ wurde sowohl der konditionierende Reiz als auch der Testreiz über die proximale Elektrode gegeben, während die Ableitelektrode an derselben Stelle befestigt wurde, an der bei der konventionellen Messung der Leitgeschwindigkeit die distale Elektrode saß. Das Intervall zwischen den Reizen wurde ebenfalls so lange vergrössert,

bis das Aktionspotential des Testreizes gerade sichtbar wurde. In diesem Augenblick zeigt das Reizintervall die absolute Refraktärzeit der schnelleitenden Fasern an der distalen Ableitelektrode an.

Zur Bestimmung der ARZ der am langsamsten leitenden Fasern wurde das Reizintervall weiter vergrössert,bis das Aktionspotential des Testreizes das Amplitudenmaximum erreichte. Das Reizintervall entsprach nun der absoluten Refraktärzeit in den am langsamsten leitenden Fasern.

III TECHNIK

Als Reizgerät wurde ein Stimulator der Firma Hugo Sachs Elektronik, HSE "80", verwendet. Der Reiz war ein Rechteckimpuls mit einer Dauer von ca. 0,3 msec. Mit dem Gerät können zwei Reizimpulse erzeugt werden, die sowohl über getrennte, als auch auf einen Ausgang abgegeben werden können. Gleichzeitig kann die Verzögerung des zweiten Reizes zum ersten stufenlos geregelt werden.
Bei den Reizelektroden für die motorischen Messungen handelt es sich um bipolare Oberflächenelektroden mit einem Durchmesser von 1cm und einem Elektrodenabstand (Kathode zu Anode) von 2,5cm. Um die Leitfähigkeit zu erhöhen, wurden sie mit Salzlösung getränkt.
Die Ableitelektroden für die Messungen der motorischen Nervenleitgeschwindigkeit waren silberne Oberflächenelektroden mit einem Durchmesser von 8mm.
Für die Ableitungen der Refraktärzeiten wurden zwei 4cm voneinander in einem Acrylglassteg gefaßte Silberstreifen verwendet, die überzogen und ebenfalls mit Salzlösung getränkt waren.
Die Potentiale wurden mit dem DISA 2-Kanal-Elektromyograph Typ 14 A 20 verstärkt. Aufgezeichnet wurden sie mit dem Dual Trace Speicher - Oscilloscope 1201 B von Hewlett & Packard. Die Messergebnisse wurden photographisch fetsgehalten. Ein wesentlicher Faktor an der Doppelstimulationsmethode war, dass sowohl proximal als auch distal supramaximale Reize gegeben wurden, weil sonst nicht gesichert war, dass der proximale Testreiz alle Fasern aktiviert, die nach der vorangegangenen antidromen Impulswelle noch relativ refraktär waren. Eine supramaximale Intensität des distalen konditionierenden Reizes war wichtig um sicherzustellen, dass alle motorischen Nervenfasern aktiviert wurden. Wenn nämlich nicht alle Fasern aktiviert werden, blockiert die konditionierende Impulswelle nicht vollständig den Nerv und das zweite Muskelpotential bleibt bestehen und verschwindet trotz erheblicher Verkürzung des Intervalls zwischen dem konditionierenden und dem Testreiz nicht.

In solchen Fällen wurde entweder ein neuer Reizort gewählt oder die Reizintensität bis auf einen supramaximalen Effekt gesteigert.

IV EIGENE UNTERSUCHUNGEN

A Versuchsanordnung

Alle Messungen wurden am N. medianus des rechten Armes vorgenommen. Die Reizelektroden zur Messung der motorischen Nervenleitgeschwindigkeit nach der konventionellen Methode wurden an zwei Stellen des rechten Armes angelegt. Zuerst dicht oberhalb des Handgelenkes zwischen der Sehne des Flexor carpi radialis und des Palmaris longus und als nächstes proximal der Aponeurosis m. bicipitis.
Die Ableitelektroden registrierten die Muskelaktionspotentiale des Thenar in "belly - tendon Technik".

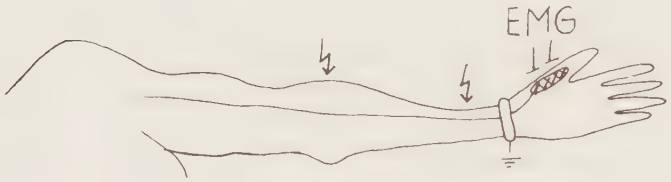


Abb. 1: Reiz- und Ableitungsorte für motor. Messungen

Bei der antidromen-orthodromen Doppelstimulationsmethode hatte der distale konditionierende Reiz seinen Ausgang am Handgelenk, und der proximale Testreiz in der Ellenbeuge. Abgeleitet wurde wieder das Aktionspotential des Thenar.
Bei der direkten Messung der Refraktärzeit des N. medianus wurde sowohl der konditionierende Reiz I als auch der Testreiz II über denselben Reizausgang oberhalb des Handgelenkes abgegeben. Abgeleitet wurde das Nervenaktionspotential in der Ellenbeuge.

Zur Messung der Strecke des N. medianus wurden bei allen Versuchen auf der Oberfläche des Armes dessen Verlauf nachvollzogen.
Die Erde lag bei allen Versuchen am Handgelenk.

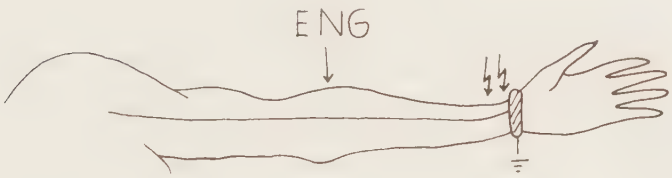


Abb. 2: Reiz- und Ableitorte für die Messung der Refraktärzeiten

Die Versuche wurden an 23 gesunden und freiwilligen Personen im Alter von 19 bis 28 Jahren (Durchschnittsalter war 25 Jahre) durchgeführt. Davon waren 7 Personen weiblichen und 16 Personen männlichen Geschlechtes.
Die Haut wurde über den Ableit- und Reizstellen sorgfältig mit Äther entfettet, durch Aufstreichen von Salzpaste wurde die Leitfähigkeit erhöht. Bei der Refratärzeitbestimmung wurden an den Ableitstellen die abgeschilferten Epithelzellen durch leichtes Schmirgeln entfernt.
Der Proband wurde in einem Raum mit einer Zimmertemperatur von ca. 28 Grad Celsius liegend untersucht, nachdem er sich schon vorher gewisse Zeit in dem Raum aufgehalten hatte, um konstante Temperaturbedingungen zu erreichen.

B.Messergebnisse

1. Nervenleitgeschwindigkeit und Leitzeit der schnellen Fasern bei direkter Messung.

Bei der Messung der motorischen Leitgeschwindigkeit der am schnellsten leitenden Fasern des N. medianus wurden die Aktionspotentiale des Thenar aufgezeichnet und zur Berechnung herangezogen.
Da in der Zeit, vom Eintritt des Reizes bis zum Anstieg des Muskelaktionspotentiales nicht nur die Leitzeit (LZ) beinhaltet ist (13,14), sondern auch die Zeit, die zur Erregungsübertragung an der Synapse notwendig ist, muss die Differenz zweier Übertragungszeiten von verschiedenen Reizpunkten, und die dazugehörige Strecke errechnet werden.
Im vorliegenden Fall wurde die Strecke von der Ellenbeuge zum Handgelenk gewählt, und hierzu die Differenz der beiden Überleitungszeiten gebildet. Mit der nun gewonnenen Leitzeit lässt sich die Nervenleitgeschwindigkeit der am schnellsten leitenden Fasern des N. medianus errechnen.
Abbildung 3 zeigt eine Nachzeichnung des motorischen Elektromyogramms. Ein Kathodenstrahl registrierte den Reizeinbruch, der andere das Muskelaktionspotential.

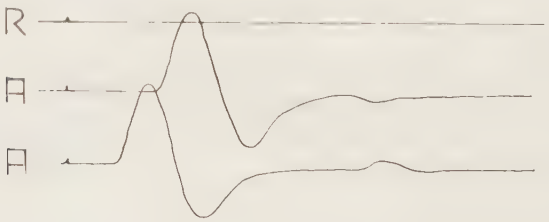


Abb.3: Nachzeichnung des motor. EMG bei der KonventionellenMethode.
A = Ableitung, R = Reiz.

Bei der Berechnung der motorischen Leitgeschwindigkeit und der Leitzeit (LZ) der am schnellsten leitenden Fasern des N. medianus in dem Segment Ellenbeuge - Handgelenk ergaben sich folgende Werte:

Tabelle I

LZ_1	NLG_1	LZ_1	NLG_1
4,25	68,25	4,0	62,50
3,75	64,00	4,0	65,00
4,5	57,80	3,0	82,50
4,5	57,78	4,5	57,80
4,25	68,20	4,0	62,50
5,0	66,07	4,5	64,30
3,25	67,75	4,75	63,15
4,0	72,50	4,5	65,56
5,25	59,10	4,5	62,20
5,0	60,00	5,75	60,90
4,75	56,90	5,0	54,00
		5,0	62,00

Die Probanden haben eine durchschnittliche Leitungsgeschwindigkeit von 63,51 $\pm$ 1,25 m/sec, und eine Leitzeit von 4,44 $\pm$ 0,13 m/sec.

2. Streuung der Nervenleitgeschwindigkeit zwischen den schnellsten und langsamsten Fasern mit der antidromen-orthodromen Doppelstimulationsmethode.

In Abbildung 4 wird deutlich, wie nach einem distalen konditionierenden Impuls das Aktionspotential des proximalen Testreizes von einem Minimum auf ein Maximum anwächst. Wenn die durch den distalen Reiz entstandene Blockierung aller Fasern aufgehoben ist, erhalten wir ein Amplitudenmaximum des proximalen Reizes.
Die Reizintervalle (t) des gerade sichtbaren Aktionspotentials und Amplitudenmaximum lassen sich somit messen.

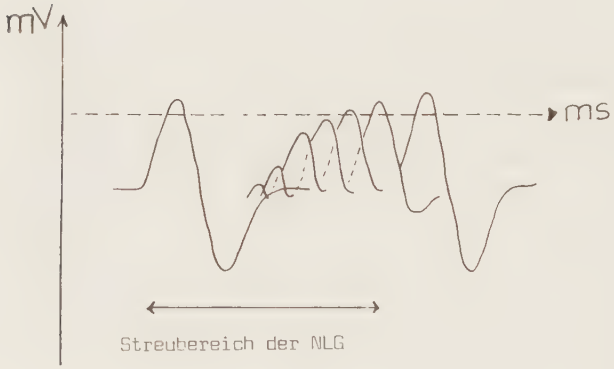


Abb.4: Ansteigen des Aktionspotentials auf ein Maximum.

Unter dem Streubereich der NLG versteht man die Differenz zwischen der NLG der am schnellsten und der NLG der am langsamsten leitenden Fasern.

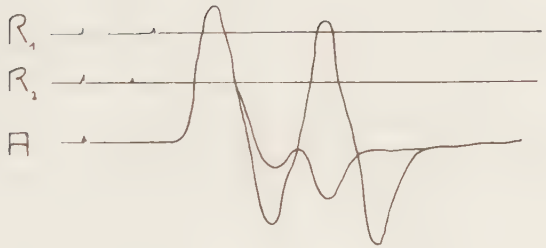


Abb.5: Nachzeichnung des motor. EMG bei der antidromen-orthodromen Doppelstimulationsmethode. R = Reiz, A = Ableitung.

Die Reizintervalle (t) für die am schnellsten und langsamsten leitenden Nervenfasern des N. medianus im Versorgungsbereich des Thenar für das Ellenbeuge-Handgelenk-Segment ergeben sich durch Messung der beiden Strecken (in Abb.5 dargestellt) zwischen den Reizeinbrüchen.

Tabelle II: Messwerte der Reizintervalle (t) der am schnellsten und langsamsten leitenden Nervenfasern des N. medianus im Versorgungsbereich des Thenar im Ellenbeuge-Handgelenk-Segment, und die Berechnung der ARZ der am schnellsten leitenden Fasern (t-LZ = ARZ, LZ aus Versuch 1). t_1 = schnelle Fasern, t_2 = langsame Fasern, ARZ_1 = ARZ der schnellen Fasern.

t_1 msec	t_2 msec	ARZ_1 msec
5,25	7,50	1,00
5,00	5,75	1,25
5,50	6,50	1,00
5,25	6,00	0,75

Fortsetzung Tabelle II

t_1 msec	t_2 msec	$AR\ddot{z}_1$ msec
5,00	7,00	0,75
6,00	10,00	1,00
3,75	6,25	0,50
5,00	7,50	1,00
6,00	8,00	0,75
6,00	10,50	1,00
5,50	8,50	0,75
5,00	6,00	1,00
5,00	7,00	1,00
4,00	7,00	1,00
5,00	9,00	0,50
3,25	6,00	0,75
5,50	7,00	1,00
5,50	7,00	0,75
5,50	7,00	1,00
5,00	6,50	0,50
6,50	8,50	0,75
5,50	8,50	0,50
5,50	6,50	0,50

3. Direkte Messung der absoluten Refraktärzeit (ARZ) der schnellsten und langsamsten Nervenfasern des N. medianus.

Tabelle III: Messwerte der am schnellsten und langsamsten leitenden Nervenfasern des N. medianus, und Berechnung der LZ und NLG (t-ARZ = LZ, t aus Versuch 2) der am schnellsten und langsamsten leitenden Fasern des N. medianus im Ellenbeuge-Handgelenk-Segment. ARZ_1, LZ_1, NLG_1 = schnelle Fasern; ARZ_2, LZ_2, NLG_2 = langsame Fasern.

ARZ_1 msec	LZ_1 msec	NLG_1 m/sec	ARZ_2 msec	LZ_2 msec	NLG_2 m/sec
0,80	4,35	66,67	1,50	6,00	48,33
1,00	4,00	60,00	1,80	3,95	60,76
1,00	4,50	57,78	2,00	4,50	57,78
0,60	4,55	57,14	1,00	5,00	52,00
0,50	4,30	64,44	1,30	5,70	50,88
0,60	5,40	55,56	0,80	9,20	32,61
0,40	3,35	65,67	0,70	5,45	40,37
0,80	4,20	69,05	1,30	6,20	46,77
0,80	5,20	59,62	1,20	6,80	45,59
0,70	5,30	56,60	1,00	8,50	35,20
1,00	4,50	60,00	2,60	5,90	45,76
0,90	4,10	60,98	1,80	4,20	59,52
0,80	4,20	61,90	2,80	4,20	61,95
1,00	3,00	96,67	1,80	5,20	55,77
0,80	4,20	61,90	2,00	7,00	37,14
0,60	2,55	98,04	1,80	4,20	59,52
0,80	4,70	59,57	2,20	4,80	58,33
0,90	4,60	65,22	2,00	5,00	60,00
0,80	4,70	61,70	1,40	5,60	51,79
0,80	4,20	66,67	1,30	5,20	53,85

Fortsetzung Tabelle III

ARZ_1 msec	LZ_1 msec	NLG_1 m/sec	ARZ_2 msec	LZ_2 msec	NLG_2 m/sec
0,75	5,75	60,87	1,65	6,85	51,09
0,60	4,90	55,10	1,02	7,30	36,99
0,60	4,90	63,27	1,10	5,40	57,41

Tabelle IV: Mittelwerte für die Nervenleitgeschwindigkeit (NLG) und Leitungszeit (LZ) der schnellst leitenden motorischen Nervenfasern des N. medianus im Versorgungsbereich des Thenar (bestimmt durch die konventionelle Methode), und das Reizintervall (t) (bestimmt durch die antidrome-orthodrome Doppelstimulationsmethode) im Segment Ellenbeuge-Handgelenk, und ARZ (Reizintervall-Leitzeit). In der untersten Reihe finden sich bei NLG und ARZ analoge Werte, die ausschließlich mit der Doppelstimulationsmethode gewonnen wurden.

Segment	NLG m/sec	LZ msec	t msec	ARZ msec
EH	63,51 $\pm$2,5	4,44$\pm$0,26	5,2$\pm$0,3	0,83$\pm$0,1
EH	64,54$\pm$4,6	4,42$\pm$0,06		0,76$\pm$0,08

Erläuterung zur Tabelle IV: Üblicherweise wählt man für medizinische Untersuchungen als Normbereich den 2s-Bereich (s=mittlerer Fehler des Mittelwertes), der rund 95% aller Werte umfasst. Dabei liegen zwar 5% der normalen Werte ausserhalb der 2s-Schranke; bei einer Erweiterung des Normbereiches würden aber im allgemeinen zu viele falsche Werte in diesen fallen und als "normal" angesehen.

Die Nervenleitgeschwindigkeit der schnellst leitenden Fasern zwischen Ellenbeuge und Handgelenk ist bei der konventionellen Methode etwas langsamer als bei der Doppelstimulationsmethode. Die

ARZ, gemessen mit der Doppelstimulationsmethode war länger als bei der Anwendung der Leitungszeitmessung mit der konventionellen Technik. Das gleiche gilt für die Leitungszeit. Der Grund für die unterschiedlichen Werte mag daherkommen, dass bei den Werten (bestimmt mit der konventionelle Methode) als zusätzlicher Messfehler die an der Oberfläche des Armes abgemessene Strecke des N. medianus zwischen den beiden Reizelektroden hinzukommt.

Tabelle V: Streubereich der Nervenleitgeschwindigkeit (=Differenz der NLG der schnellsten und langsamsten Fasern) des N. medianus im Ellenbeuge-Handgelenk-Segment; NLG, LZ, t und ARZ der am langsamsten leitenden motorischen Nervenfasern (bestimmt mit der Doppelstimulationsmethode).

t msec	Streubereich der NLG m/sec	NLG m/sec	LZ msec	ARZ msec
7,37±0,54	14,13±5,92	50,41±3,74	5,75±0,56	1,58± 0,2

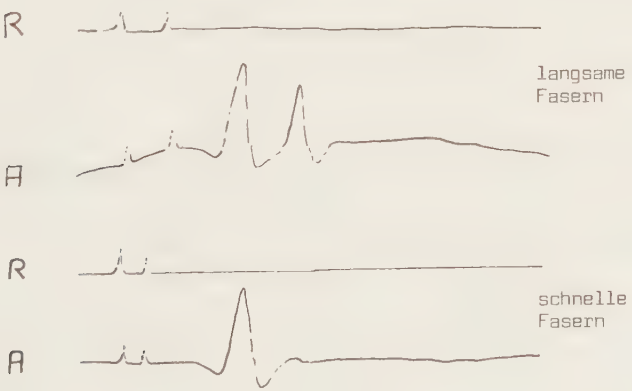


Abb.6: Nachzeichnung des ENG bei der Messung der absoluten Refraktärzeit der am schnellsten und langsamsten leitenden Nervenfasern des N. medianus. R= Reiz, A= Ableitung.

C. Statistische Auswertung (4,7)

Tabelle VI: Zusammenstellung der Parameter aller aus den Versuchen gewonnenen Daten.

Parameter	LZ	NLG	ARZ	t
$\bar{x}$	4,42	64,54	0,76	5,20
s	0,74	10,99	0,17	0,73
S(X)	101,65	1484,42	17,55	119,50
$S(X^2)$	461,18	98463,36	14,00	632,75
$(S(X))^2$	10332,72	2203502,74	308,00	14280,25
$S_{\bar{x}}$	11,93	2658,94	0,61	11,87
$s_{\bar{x}}$	0,15	2,29	0,04	0,15

(Doppelstimulationsmethode, schnellste Fasern)

Parameter	NLG	LZ	ARZ
$\bar{x}$	63,51	4,44	0,83
s	6,01	0,62	0,22
S(X)	1460,76	102,00	19,00
$S(X^2)$	93569,41	461,00	15,75
$(S(X))^2$	2133819,78	10404,00	361,00
$S_{\bar{x}}$	794,64	8,65	1,05
$s_{\bar{x}}$	1,25	0,13	0,05

(Konventionelle Methode, schnellste Fasern)

Parameter	LZ	NLG	ARZ	t
$\bar{x}$	5,57	50,41	1,58	7,37
s	1,36	8,98	0,54	1,28
S(X)	132,15	1159,50	36,25	169,50
$S(X^2)$	800,20	60228,77	63,62	1285,38
$(S(X))^2$	17463,62	1344440,25	1314,06	28730,25
$S_{\bar{x}}$	40,91	1774,85	6,49	36,24
$s_{\bar{x}}$	0,28	1,87	0,11	0,27

(Doppelstimulationsmethode, langsamste Fasern)

Zur Signifikanzprüfung von Mittelwertdifferenzen bei zwei abhängigen Stichproben verwendet man für Maßzahlpaare bis zweihundert die STUDENT-VERTEILUNG (t-Test) für gepaarte Daten. Hierbei geht man davon aus, dass die beiden Messreihen sich nicht unterscheiden, das heisst, die Mittelwertdifferenzen sind gleich Null (Nullhypothese). Kann die Nullhypothese mit der vorgegebenen Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% abgelehnt werden, so ist die Mittelwertdifferenz beider Stichproben signifikant.

Berechnung:
Es wird die Differenz sämtlicher Messwertpaare gebildet. Der Mittelwert der Differenz - $\bar{x}$ - und dessen Standardabweichung -s- werden nach folgenden Gleichungen berechnet:

$$\bar{x} = \frac{S(x)}{n}$$

S = Summe
n = Maßzahlpaare
s = Standardabweichung

$$s = \frac{1}{n-1} S(x^2) - \frac{S(x)^2}{n}$$

$$s_{\bar{x}} = \frac{s}{n}$$

Die Nullhypothese wird mittels des Prüfquotienten t kontrolliert:

$$t = \frac{\bar{x}}{s_{\bar{x}}}$$

für $d_f = n - 1$
d_f = Zahl der Freiheitsgrade

Mit Hilfe dieses t-Wertes wird in der Tafel der STUDENT-VERTEILUNG die Irrtumswahrscheinlichkeit in Prozenten nachgeschlagen (4).

Wie aus den Berechnungen hervorgeht, ist die Differenz der Mittelwerte zwischen der ARZ der schnellsten und der langsamsten Fasern statistisch hochsignifikant (t = 13,898).(Dieser t-Wert entspricht einer Irrtumswahrscheinlichkeit von p = 0,0001). Dasselbe trifft für die NLG zu (t = 4,774, dies entspricht einem p = 0,001).

Ein einfaches Mass für die Abhängigkeit zweier veränderlicher Variablen x und y ist die Kovarianz, die sich wie folgt berechnen lässt:

$$C_{xy} = \frac{1}{n-1} \cdot S\left((x-\bar{x}) \cdot (y-\bar{y}) \right)$$

Der Schätzwert für die Kovarianz stellt zwar ein einfaches Abhängigkeitsmass dar, ist aber nicht leicht zu interpretieren. So wie die Abweichung standardisiert wurde, ist es auch zweckmässig, die Abhängigkeit zu standardisieren. Die Grösse, die hierfür verwendet werden kann, ist der Produktmomentkorrelationskoeffiziert, der mit r bezeichnet wird, und nach folgender Gleichung zu berechnen ist:

$$r = \frac{S_{xy}}{S_{xx} \cdot S_{yy}}$$

Ist r gleich 1, wird die Beziehung zwischen den Stichprobenwerten durch eine gerade Linie dargestellt, dabei nehmen x und y wertmässig miteinander zu. Ist dagegen r gleich -1, nimmt y ab, wenn x grösser wird. Mit Hilfe der Nullhypothese (r = 0) ist dann die Korrelation zu überprüfen.

Berechnung der Quadrat- und Produktsummen für die Korrelationsanalyse:

Die ARZ und NLG der am schnellsten leitenden motorischen Fasern des N. medianus:

n= 23	NLG X	ARZ Y	X•Y
	$S X = 1484,42$	$SY = 17,55$	$SXY = 1133,70$
	$S X^2 = 98463,36$	$SY^2 = 14,00$	
	$\frac{(SX)^2}{n} = 95804,41$	$\frac{(SY)^2}{n} = 13,35$	$\frac{SX \cdot SY}{n} = 1132,68$
	$S_{xx} = 2658,95$	$S_{yy} = 0,65$	$S_{xy} = -1,02$

ARZ und NLG der am langsamsten leitenden Fasern des N. medianus:

n= 23	NLG X	ARZ Y	X•Y
	$SX = 1159,5$	$SY = 36,25$	$SXY = 1684,85$
	$SX^2 = 60228,77$	$SY^2 = 63,62$	
	$\frac{(SX)^2}{n} = 58453,92$	$\frac{(SY)^2}{n} = 57,13$	$\frac{SX \cdot SY}{n} = 1827,47$
	$S_{xx} = 1774,85$	$S_{yy} = 6,49$	$S_{xy} = -57,38$

Reizintervall t und NLG der am langsamsten leitenden motorischen Fasern des N. medianus:

n= 23	NLG X	t= LZ + ARZ = Y	t•NLG = X•Y
	$SX = 1484,42$	$SY = 119,5$	$SXY = 7577,17$
	$SX^2 = 98463,36$	$SY^2 = 632,75$	
	$\frac{(SX)^2}{n} = 95804,41$	$\frac{(SY)^2}{n} = 620,88$	$\frac{SX \cdot SY}{n} = 7712,53$
	$S_{xx} = 2658,95$	$S_{yy} = 11,87$	$S_{xy} = -136,36$

Reizintervall t und NLG der am langsamsten leitenden motorischen Fasern des N. medianus:

n= 23	NLG = X	t = LZ + ARZ = Y	t•NLG = X•Y
	SX_2= 1159,5	SY_2= 169,5	SXY = 8344,27
	SX_2= 60228,77	SY_2= 1285,38	
	$\frac{(SX)}{n}$ = 58453,92	$\frac{(SY)}{n}$ = 1249,14	$\frac{(SX \cdot SY)}{n}$ = 8545,01
	S_{xx}= 1774,85	S_{yy}= 36,24	S_{xy} = -200,74

Wir erhalten so bei den Messwertpaaren zwischen Nervenleitgeschwindigkeit und absoluter Refraktärzeit der am schnellsten leitenden motorischen Fasern einen Korrelationskoeffizienten von -0,02. Aus dem Signifikanztest ergibt sich somit, dass unter Beachtung des geforderten 5% Niveaus der beiden Variablen ARZ und NLG der schnellen Fasern ein signifikanter Zusammenhang nicht nachzuweisen ist.
Setzen wir auch für die langsam leitenden Fasern - wie für die schnelleitenden - zum Vergelich die Reizintervalle t in Beziehung zu der NLG, so müssen wir annähernd dieselben Werte für den Produktmomentkorrelationskoeffizienten erwarten, da die Leitzeit umgekehrt proportional zur NLG ansteigt. Die Punktschätzwerte für den Produktkorrelationskoeffizienten bestätigen diese Annahme.
Er beträgt hier -0,77 für die langsamen Fasern und -0,79 für die raschleitenden Fasern.
Ergebnisse zwischen Messmethode 1 und 2 sind somit vergleichbar.

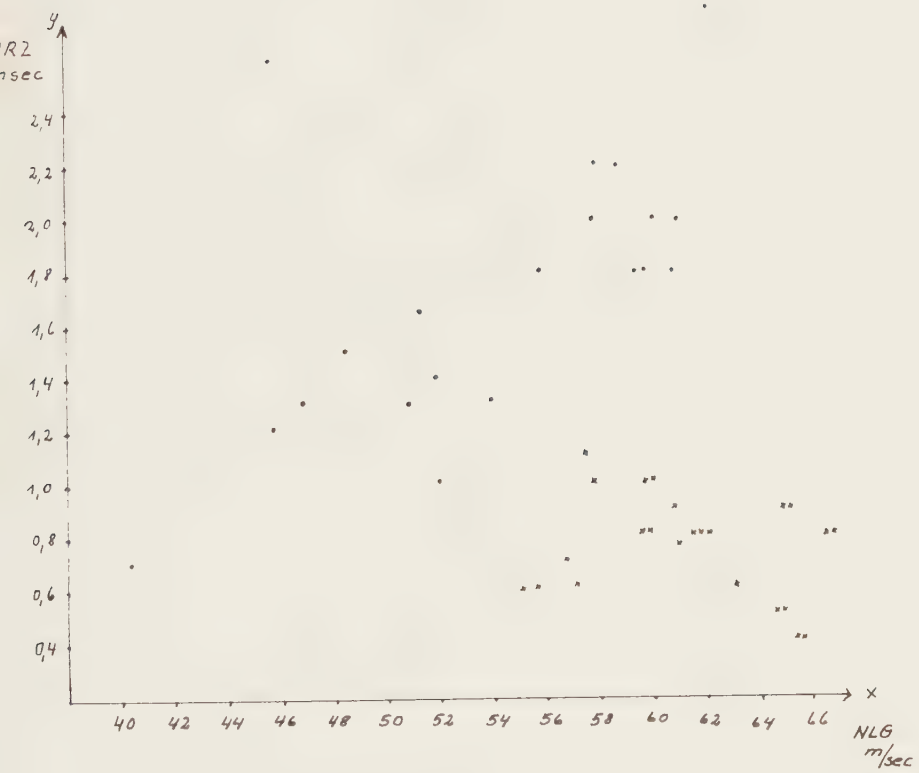


Abb.7: Punktediagramm der NLG und ARZ der am schnellsten und langsamsten leitenden motorischen Fasern des N. medianus. Punkte = langsame Fasern, Kreuze = schnelle Fasern.

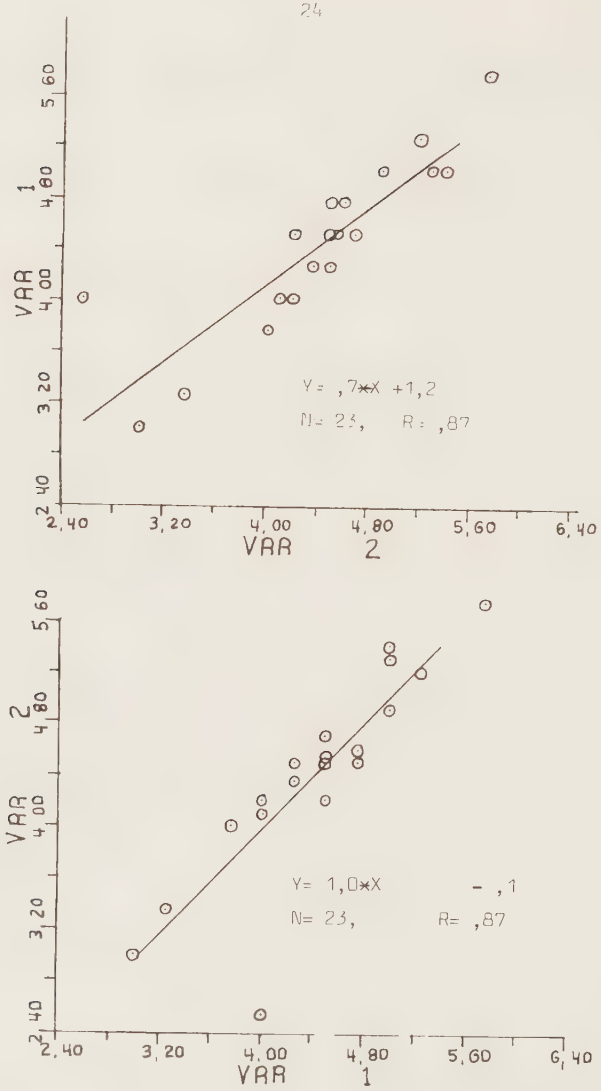
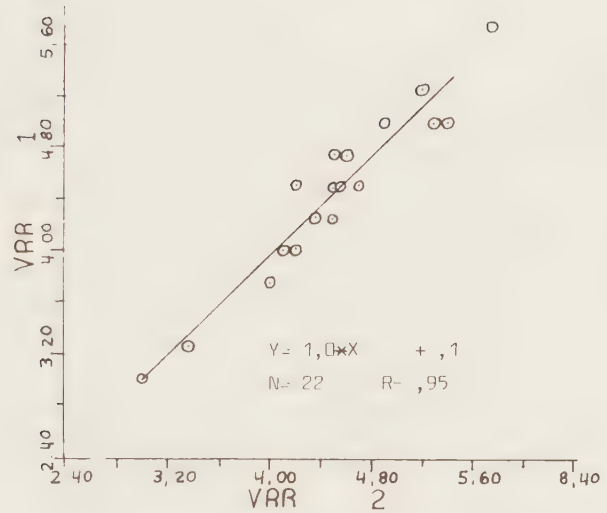


Abb.8 und 9: Regressionsgerade der Leitgeschwindigkeiten, gemessen nach Methode 1 und 2 unter Zugrundelegung von 23 VP.



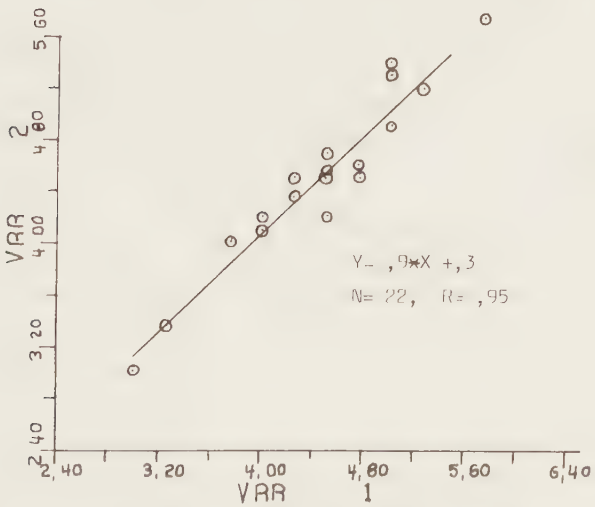


Abb. 10 und 11: Regressionsgerade der Nervenleitgeschwindigkeiten, gemessen nach Methode 1 und 2 unter Zugrundelegung von 22 VP.

Um festzustellen, ob die Bestimmung der Nervenleitgeschwindigkeit nach der Methode 1 (direkte Methode) die gleichen Werte liefert, wie die Messung nach der Methode 2 (indirekte Methode),wurde ein Paarvergleich vorgenommen. Die graphischen Aufzeichnungen zeigen deutlich,dass in dem Kollektiv von 23 ein "Ausreisser" enthalten ist. Unter Kenntnis des Untersuchungsganges ist dieser Wert als Falschmessung zu interpretieren.

Der erwähnte "Ausreisser" liegt ausserhalb der 2s-Grenze. Er ist ausserdem als Messfehler identifizierbar. Deshalb ist es gerechtfertigt, ihn aus dem Untersuchungskollektiv herauszunehmen, übrig bleiben dann 22 Werte.

Mit der Messmethode 1 (direkte Messung) wird ein Mittelwert der Nervenleitgeschwindigkeiten vonn 44,545 m/sec erhalten, die Messmethode 2 liefert einen Wert von 45,045 m/sec. Die Standartabweichung der Messmethode 1 liegt bei 6,345 m/sec, die der Messmethode 2 bei 6,279 m/sec.

Die Aufstellung der Regressionsgeraden unter Zugrundelegung von 22 Untersuchungen ergibt eine Korrelationsmatrix von 0,95.

Unter Zugrundelegung der vorgegebenen zugelassenen Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% ist die Korrelation der beiden Messmethoden hochsignifikant.

V DISKUSSION

Bei Messungen der Nervenleitgeschwindigkeiten an peripheren Nerven des Menschen gibt es mehrere Unsicherheitsfaktoren. Das Muskelpotential kann entweder mit Oberflächen- oder Nadelelektroden abgeleitet werden. Bei Benutzung der Nadelelektroden ist davon auszugehen, dass nicht alle motorischen Einheiten eines Muskels erfasst werden, was bedeutet, dass entweder langsame oder schnelle Fasern vom Messvorgang ausgenommen werden (20). Bei den kleinen Muskeln stellt dies keine ins Gewicht fallende Irrtumsquelle dar (21). Die Oberflächenelektroden dagegen neigen dazu, elektrische Aktivitäten von benachbarten Muskeln mit aufzufangen.
Wenn sich die Reizintensität der Schwellenintensität nähert, würde sich eine Vergrösserung der Intervalle ergeben und infolgedessen die gemessenen Intervalle zu lang werden, da Fasern in der relativen Refraktärphase nicht aktiviert werden könnten. Deshalb war es notwendig die Stärke des Testreizes im Hinblick auf die relative Refraktärphase der Nervenfasern nach dem konditionierenden Reiz supramaximal zu halten (14,13,19).
Buchthal und Rosenfalck (4) fanden bei ihren Untersuchungen Stromausbreitungen an der Reizkathode, wenn starke supramaximale Reizungen verwendet wurden. Diese Befunde wurden aber von Lehtonen, Lang und Koivikko (18) experimentell widerlegt. Zwar verkürzte sich die Latenz um 0,1 bis 0,38 msec wenn die Spannung des Reizes vom Schwellenwert auf den supramaximalen Wert angehoben wurde, wenn aber die Spannung auf das vierfache des supramaximalen Wertes angehoben wurde, fanden sie keine systematischen Änderungen der Latenz mehr, es traten jedoch zufällige Verkürzungen und Verlängerungen der Latenzen auf.
Das Problem der Stromausbreitung unter der Stimulationskathode dürfte bei der Doppelstimulationsmethode eine erhebliche Fehlerquelle darstellen, da der Fehler verdoppelt würde, weil die erste Impulswelle sich antidrom und die zweite sich orthodrom ausbreiten. Bei der konventionellen Methode dagegen würde der

mögliche Irrtum durch Stromschleifen eliminiert, da man annehmen kann, dass er unter beiden Stimulationspunkten von gleicher Grösse sein dürfte. Buchthal und Rosenfalck (20) fanden zumindest in ihren Versuchen Stromausbreitung an der Reizkathode. Dagegen konnten Lehtonen, Lang und Koivikko (18) keine signifikante Stromausbreitung unter den Oberflächenelektroden feststellen. Bei der Bestimmung der Nervenleitgeschwindigkeit des N. ulnaris zu 9 verschiedenen Zeiten beim selben Individuum in einer Gruppe von 5 gesunden Probanden fanden sie bei Messungen schneller motorischer Fasern eine Abweichung, die 4 bis 6 m/sec nicht überschritt, was einen Gesamtfehler von 4,8% ausmacht.Diese Abweichung liegt im Bereich des Messfehlers (9,10).

Jede Versuchsperson besitzt eine individuelle charakteristische Nervenleitgeschwindigkeit, die im wesentlichen von Faserdicke, Ausbildung der Myelinhülle und Abstand der Ranvier'schen Schnürringe abhängig ist (13,14,15). Die Nervenleitgeschwindigkeit wird, wie auch die bei der Erregung und Erregungsleitung des Nerven beteiligten Faktoren, mehr oder weniger stark von Änderungen der Temperatur beeinflusst. Dieser Einfluss kommt besonders deutlich in der Temperaturabhängigkeit der Nervenleitgeschwindigkeit zu Ausdruck. Das Temperaturoptimum liegt bei etwa 40 Grad Celsius. Der reversible Kälteblock tritt bei etwa 15 Grad Celsius ein. Hinrichsen (1956) prüfte die Nervenleitgeschwindigkeit der motorischen Fasern des N. ulnaris, indem er den Arm in einem Wasserbad von 29 Grad C. bis 38 Grad C. erwärmte. Dabei konnte er einen Anstieg von 2 bis 4 m/sec pro Grad feststellen (22). Ausserdem wurde auch festgestellt, dass die Muskeltemperatur bei verschiedenen Individuen zwischen 34 Grad C. und 36,5 Grad C. variiert (13). Da im Alter von 50 Jahren sowohl die sensorische als auch motorische Leitgeschwindigkeit eine Tendenz zur Verlangsamung zeigt (16), sollten möglichst jugendliche Probanden herangezogen werden. Das Durchschnittsalter der hier untersuchten Probanden lag bei etwa 25 Jahren.

Die Nervenleitgeschwindigkeit (64,54 ±4,6 m/sec) der am schnellsten leitenden Fasern des N. medianus im Ellenbeuge-Handgelenk-Segment, gemessen mit der Doppelstimulationsmethode, war nahezu gleich mit der, bei Anwendung der konventionellen Methode (63,51 ±2,5 m/sec). Der geringfügige Unterschied dürfte an der Tatsache liegen, dass als zusätzlicher Unsicherheitsfaktor bei der Anwendung der konventionellen Methode, die Messung der Strecke zwischen den beiden Reizelektroden an der Oberfläche des Armes hinzukommt, die mit dem Nervenverlauf aber nicht genau übereinstimmt. Die Befunde von Thomas und Mitarbeiter (21) sind niedriger, da sie sich auf den N. ulnaris beziehen. Ausserdem lag das durchschnittliche Alter der Versuchspersonen höher.

Die Befunde, die sich mit der Streubreite der Nervenleitgeschwindigkeit motorischer Nervenfasern befassen, enthielten gewöhnlich in Prozenten angegebene Resultate von Einzellatenzmessungen (10, 11,12,21). Die erwähnten Resultate bezogen sich auf den N. ulnaris und es ist bekannt, dass die Nervenleitgeschwindigkeit bei den verschiedenen peripheren Nerven unterschiedlich ist. Hopf berichtet über eine Differenz in der Nervenleitgeschwindigkeit zwischen N. medianus und N. ulnaris von 8,6 m/sec. Diese geringfügige Differenz mag durch einen Fehler der ARZ in Hopfs Experimenten verursacht sein. Er zog ohne Bestimmung der Refraktärzeit 0,5 msec als ARZ sowohl von den schnellsten als auch den langsamsten motorischen Nervenfasern ab. Thomas und Mitarbeiter (21) fanden, dass die Mehrheit der motorischen Nervenfasern mit einer um 15 bis 20% geringeren Geschwindigkeit leiten als die maximale NLG; aber in einigen Fällen war die NLG der langsamen Fasern um 40% geringer. Die vorliegenden Befunde für die Streuung der NLG (ca. 21%) liegen doch um einiges höher als von Thomas und Mitarbeiter. Buchthal und Rosenfalck (3) massen 0,7 bis 0,8 msec als ARZ der schnellsten sensiblen Fasern am N. medianus. Dies stimmt gut mit den vorliegenden Befunden überein (0,76 bis 0,83 msec). Die ARZ-Werte der schnellsten sensiblen Fasern sind bei Katzen und Fröschen allgemein kürzer als die ARZ für die motorischen Fasern(14).

Blair und Erlanger (2) massen 0,8 bis 0,9 msec.
Die ARZ in den langsamsten Fasern des N. medianus (1,58±0,2 msec) war im Verhältnis zu der geringen Streuung der NLG ziemlich lang. Buchthal und Rosenfalck (3) wiesen darauf hin, dass die ARZ, verglichen mit der der schnellen Fasern, in den langsamen 1,5 bis 2 Mal grösser sei. Die vorliegenden Befunde stimmen mit den Erwartungen überein. Die Resultate legen nahe, dass die ARZ bei den langsamsten motorischen Fasern des Menschen etwa 2 Mal so lang ist wie bei den schnellsten Fasern. Im Tierexperiment wurde gesehen (14), dass die ARZ exponentiell ansteigt, wenn die NLG sinkt. Die ARZ als Funktion der NLG ist in Abbildung 7 dargestellt. Bei den schnellen Fasern ist nur ein grober Trend zu erkennen, während bei den langsamen Fasern eine lineare Regression schon zu erkennen ist (4). Die Zunahme der Beziehung wurde auch bei der Berechnung des Produktmomentkorrelationskoeffizienten (Mass für die Abhängigkeit zweier Variable) deutlich. Würde die ARZ proportional ansteigen wenn die NLG absinkt, müssten sich die gleichen Punktschätzwerte für den Produktkorrelationskoeffizienten sowohl bei den langsamen als auch bei den schnellen Fasern ergeben. Die Irrtumswahrscheinlichkeit der funktionellen Beziehung zwischen ARZ und NLG ist aber bei den schnellen Fasern wesentlich grösser (p 25%) als bei den langsamen Fasern. Wenn wir die Punktschätzwerte für den Produktkorrelationskoeffizienten von t und NLG vergleichen, so finden wir für die langsamen (r=-0,79) und schnellen (r=-0,77) Fasern fast die gleichen Werte. Der geringe Unterschied liegt wohl darin, dass das Reizintervall die ARZ beinhaltet. Das exponentielle Ansteigen der ARZ bei Absinken der NLG ergibt sich aus den negativen Werten des Korrelationskoeffizienten.
Lehtonen, Lang und Koivikko (18) empfehlen für die klinische Tätigkeit auch für die Leitgeschwindigkeitsmessung der raschleitenden Fasern Fasern die "indirekte" Messmethode zu verwenden. Wir haben deshalb die gemessenen Latenzzeiten, gewonnen einmal mit

der "direkten", einmal mit der "indirekten" Methode, an dem gleichen Nerven im Paarvergleich statistisch untersucht. Wie aus Abbildung 8 bis 11 ersichtlich, besteht hier eine hochsignifikante Korrelation. Bei einer Korrelationsmatrix von 0,95 und dem damit verbundenen Standardfehler der Regressionsgeraden von 6,9% errechnet sich aus dem Signifikanztest der Korrelationskoeffizienten eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 0%. Aus dem Verlauf der Regressionsgeraden ergibt sich, dass beide Methoden zu vergleichbaren Ergebnissen führen.

VI ZUSAMMENFASSUNG

Es werden die Leitgeschwindigkeiten (NLG) und die absoluten Refraktärzeiten (ARZ) sowohl der schnelleitenden als auch der langsamleitenden motorischen Nervenfasern am N. medianus bestimmt. 23 gesunde weibliche und männliche Personen im Alter von 18 - 28 Jahren stellten sich als Versuchspersonen freiwillig zur Verfügung.

Bei der Anwendung der konventionellen Methode zur Messung der Leitzeit (direkte Methode) wurde die Nervenleitgeschwindigkeit der schnellleitenden Fasern aus der Strecke des Nerven zwischen den beiden angelegten Stimulationselektroden (gemessen wurde an der Oberfläche des Armes) und der Leitzeit errechnet, die Leitgeschwindigkeit beträgt hierbei 63,51 $\pm$ 1,25 m/sec. Mit der Doppelstimulationsmethode wurde die Nervenleitgeschwindigkeit der langsamleitenden Fasern bestimmt, und hieraus die Streubreite zwischen raschleitenden und langsamleitenden Fasern errechnet. Die NLG der schnelleitenden Fasern, mit der indirekten Methode bestimmt, war 64,54 $\pm$ 4,6 m/sec. Die NLG der langsamleitenden Fasern, ebenfalls bestimmt mit der indirekten Methode, beträgt 50,41 $\pm$ 3,74 m/sec. Die Streubreite beträgt somit 14,31 $\pm$ 5,92 m/sec.

Ausserdem wurde die ARZ sowohl der schnelleitenden als auch der langsamleitenden Fasern gemessen. Bei den raschleitenden Fasern beträgt sie 0,76 $\pm$ 0,08 msec, bei den langsamleitenden Fasern beträgt sie 1,58 $\pm$ 0,2 msec.

Die Werte der absoluten Refraktärzeit wurden mit den Werten der Leitgeschwindigkeitsmessung verglichen und statistisch aufgearbeitet. Ebenso wurde mit den Streubreitenwerten verfahren.

Die statistische Untersuchung zeigt, dass eine signifikante Beziehung zwischen absoluter Refraktärzeit (ARZ) und Leitgeschwindigkeit (NLG) besteht. Je rascher die Leitgeschwindigkeit an der Nervenfaser ist, um so kürzer wird die absolute Refraktärzeit (ARZ).

Der Vergleich der Leitgeschwindigkeiten bestimmt nach Methode 1 (direkt) und bestimmt nach Methode 2 (indirekt) führt zu vergleichbaren Ergebnissen.

LITERATURVERZEICHNIS:

1. Bergmanns, J. — Erholung der Erregbarkeit einzelner motorischer Nervenfasern der Menschen nach repetitiver Reizung. Elektromyograph 8, 281 - 285 (1968)

2. Blair, E.A. — A comparison of the charakteristics of axons through their individual electrical responses. Americ. J. Physiol. 106, 525 (1933)

3. Buchthal, F. Rosenfalck, A. — Evoked action potentials and conduction velocity in human sensory nerves. Brain Res. 3, 1 (1966)

4. Campbell, R.C. — Statistische Methoden für Biologie und Medizin. Stuttgart: Thieme 1971

5. Corbat, F. — Über Messungen der Leitgeschwindigkeit am peripheren Nerven und deren Verwertung in der Klinik. Dtsch. Z. Nervenheilk. 182, 652 - 657

6. Drechsler, B. — Analyse der Leitgeschwindigkeit einzelner motorischer Fasergruppen. Dtsch. Z. Nervenheilk. 195, 19 - 25 (1969)

7. Franke, H. — Manuskript und Vortrag. 2. Auflage Stuttgart: Thieme 1969

8. Gassel, M.M. — Sources of error in motor nerve conduction studies. Neurology 14, 825 (1964)

9. Higgins, D.C. Liebermann, J.S. — The muscle silent period: variability in normal man. Elektroenceph. Clin. Neurophysiol. 24 176 - 182 (1968)

10. Hopf, H.C.
Kim, S.W.
Verändert sich die Leitgeschwindigkeit langsamer und rascher motorischer Fasern des N. ulnaris im Verlauf eines Tages oder grösserer Zeitabschnitte.
Zentr.bl. f. d. ges. Neurologie und Psychiatrie 149 - 252 (März 1968)

11. Hopf, H.C.
Untersuchungen über die Unterschiede in der Leitgeschwindigkeit motorischer Nervenfasern beim Menschen.
Dtsch. Z. Nervenheilk. 183, 579 (1962)

12. Hopf, H.C.
Über die Veränderung der Leitfunktion peripherer motorischer Nervenfasern durch Diphenylhydantoin.
Dtsch. Z. Nervenheilk. 193, 41 (1968)

13. Katz, B.
Nerv, Muskel und Synapse.
Stuttgart: Thieme 1971

14. Keidel, W.D.
"Über Reizgesetze und andere Vorstellungen von den Vorgängen bei der Erregung des Nerven."
Physiologie Stuttgart: Thieme 1971

15. Kemble, F.
Conduction in the normal adult median nerve: the different effect of ageing in men and women.
Elektromyographie 7, 275 - 288, (1967)

16. Kemble, F.
General observations on sensory conduction in the normal adult median nerve.
Elektromyographie 7, 127 - 140 (1967)

17. Lehmann, H.J.
Zur Pathophysiologie der Refraktärzeitperiode peripherer Nerven.
Dtsch. Z. Nervenheilk. 192, 185 - 192 (1967)

18. Lehtonen, J.B.
Lang, M.J.
Koivikko, M.J.
Untersuchungen der Leitgeschwindigkeiten und der refraktären Perioden der am schnellsten und langsamsten leitenden ,otor. Nervenfasern des Menschen.
Z. EEG - EMG 1, 188 - 196 (1970)

19. Lullies, H. Über Reizgesetze und andere Vorstellungen von den Vorgängen bei der Erregung des Nerven. Ergebn. Physiol. 47, 1 - 23 (1955)

20. Simpson, J.A. Facts and fallacy in measurement of conduction velocity in motor nerves. J. Neurol. Neurosurg. Psychiat. 27, 381(1964)

21. Thomas, P.K. The range conduction velocity in normal motor nerve. J. Neurol. Neurosurg. Psychiat. 22, 175 - 181 (1952)

22. Yap, C.B. Sciatic nerve motor conduction velocity study. J. Neurol. Neurosurg. Psychiat. 30, 233 (1970)

Lebenslauf

Am 15. Januar 1947 wurde ich, Gabriele Höhnle, geborene Färber, als Jüngste von drei Kindern des Wilhelm Färber und seiner Ehefrau Frieda, geborene Böttcher, in Grossaspach geboren.
Von 1954 bis 1956 besuchte ich die Volksschule in Grossaspach, 1957 in Backnang, 1958 in Korntal und 1959 wieder in Backnang und trat im April 1959 in den naturwissenschaftlichen Zug des Gymnasiums Backnang ein, wo ich im Juni 1967 das Abitur ablegte.

Das Medizinstudium nahm ich im Oktober 1967 an der Universität Tübingen auf.

Nach bestandener naturwissenschaftlicher Vorprüfung im September 1968 und bestandener ärztlicher Vorprüfung im September 1970 wechselte ich nach dem zweiten klinischen Semester im Oktober 1971 auf Zahnmedizin über und legte im September 1972 die zahnärztliche Vorprüfung ab.

Am 19. Juni 1975 habe ich mein Zahnmedizinstudium mit dem Staatsexamen abgeschlossen.